

LE ATTIVITÀ DI MODELLIZZAZIONE NELL'EDUCAZIONE ALLE SCIENZE

PARTE SECONDA: IL MODELLO PARTICELLARE

Riassunto

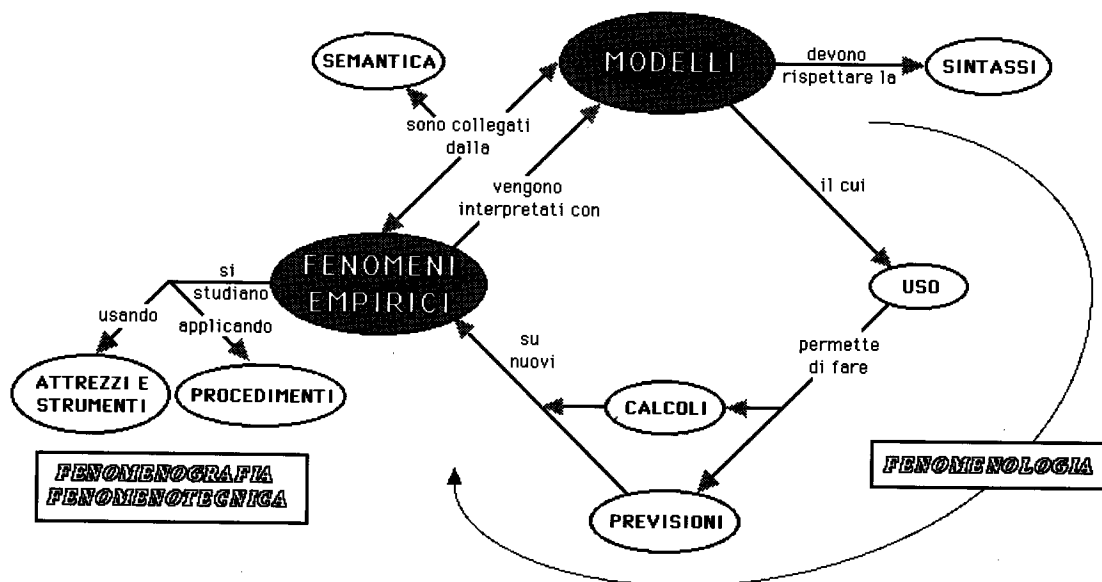
Nella prima parte di questo lavoro si sono analizzati i concetti di sistema e di modello. In questa seconda parte, viene dapprima presentato uno schema della relazione tra modello e realtà che evidenzia come le conoscenze scientifiche vengano costruite su due livelli: quello del referente empirico e quello del modello. Viene poi illustrata e discussa una sequenza didattica, basata su attività di modellizzazione, messa a punto per consentire ad allievi della scuola secondaria superiore di appropriarsi del modello particellare della materia. In base ad una prima valutazione, l'approccio proposto risulta più efficace di quello tradizionale.

EZIO ROLETTO*
PIER GIORGIO ALBERTAZZI**
ALBERTO REGIS**

1 - La relazione modello - realtà

Le riflessioni epistemologiche sui concetti di sistema e modello sono numerose e, come sostiene J.-L. Martinand [1], passare in rassegna la letteratura per chiarirsi le idee su cosa sia un sistema o un modello è certamente il mezzo migliore per non dare mai inizio ad attività di ricerca su questi temi. Tuttavia, questo

pone [1,2] uno *schema della modellizzazione* che può essere utile per inquadrare alcuni problemi importanti dal punto di vista didattico, in quanto distingue nettamente il registro del modello da quello del referente empirico. A partire dalla proposta di Martinand, abbiamo elaborato lo schema riportato nel riquadro 1. Lo schema proposto mette in evidenza che le conoscenze scientifiche vengono costruite su due livelli: uno è quello che viene chiamato *referente empirico* oppure campo empirico di riferimento, comprendente oggetti e fenomeni del mondo osservabile; l'altro è quello del modello e comprende oggetti concettuali, ossia prodotti cognitivi del soggetto che interagisce con oggetti osservabili.



Riquadro 1- Relazione tra registro empirico e registro del modello (Adattato da J.-L.Martinand [1,2])

Gruppo di Didattica della Chimica, Università di Torino

* Dipartimento di Chimica Analitica, via P. Giuria 5, 10125 TORINO

** I.T.I. Quintino Sella, BIELLA

stesso autore riconosce che è necessario richiamarsi a questa letteratura ed alle elaborazioni della psicologia cognitiva per precisare quale relazione esista tra il campo empirico dei fenomeni ed il modello, costruzione del pensiero. Egli pro-

Al primo livello, l'allievo costruisce concetti categoriali (solido, liquido, acido, base, ecc.) sulla base di dati empirici; al secondo livello, l'allievo si trova di fronte a problemi che richiedono di elaborare interpretazioni o di avanzare previsioni.

Il campo empirico di riferimento comprende, da una parte, l'insieme dei fenomeni che vengono presi in considerazione: ad esempio, tutte le trasformazioni fisiche delle sostanze. D'altra parte, al referente empirico appartengono pure gli oggetti, apparecchi e attrezzature, le osservazioni ed i procedimenti sperimentali messi in atto per studiare tali fenomeni. Le conoscenze indispensabili per operare a livello empirico vengono classificate da Martinand [1] in due categorie: la **fenomenografia**, che riunisce l'insieme di conoscenze di cui gli allievi si servono per descrivere i fenomeni; la **fenomenotecnica**, che comprende gli strumenti di comunicazione (i linguaggi specializzati delle scienze, per esempio) e le regole che consentono di portare a buon fine le sperimentazioni. È quindi evidente che l'allievo, anche soltanto a livello empirico, deve mettere in opera un ampio spettro di conoscenze relative ai fenomeni ed ai corpi presi in considerazione. Ad esempio, quando si studiano le trasformazioni chimiche, vi sono sostanze, indicate con nomi che appartengono al linguaggio specialistico della chimica, di cui si può costruire una carta d'identità semplice in base a caratteristiche percettive ed al comportamento con l'acqua; vi sono reazioni che è possibile realizzare facilmente e che possono essere descritte in termini empirici: formazione di un precipitato, sviluppo di effervescenza, cambiamento di colore, ecc. Queste sono già conoscenze chimiche, in base alle quali gli allievi sono in grado di costruire classi di sostanze: gli acidi, le basi, i sali, ecc. Si tratta di un primo livello di conoscenza che si può sviluppare al di fuori di qualsiasi modello che faccia riferimento ad una teoria particellare.

Nel campo teorico trovano posto i concetti e le relazioni sintattiche che li legano: insieme questi costituiscono la struttura teorica del modello. È evidente che campo empirico di riferimento e modello non sono estranei l'uno all'altro: da una parte, il modello serve per rappresentare, interpretare, prevedere certi fenomeni; d'altra parte, i fenomeni vengono scelti in modo da delimitare un campo di riferimento pertinente al modello che si intende costruire e validare. Per esempio, è possibile aiutare gli allievi a costruire un modello corpuscolare semplice della materia, nel quale parlare solo di particelle e non di atomi e molecole, se si assume, come campo empirico di riferimento, quello che comprende tutte le situazioni sperimentali in cui entrano in gioco fenome-

ni e trasformazioni di tipo fisico di solidi, liquidi e gas (espansione, dilatazione, compressione, dissoluzione, cambiamento di stato fisico, ecc.), nei quali le sostanze conservano la propria identità.

Si deve poi tenere conto del fatto che il modello è un prodotto della mente che viene concretizzato facendo ricorso a simboli grafici. In questo modo, il modello diventa uno strumento che consente di affrontare in modo concreto problemi per i quali non esistono attività sperimentali significative. Consideriamo, per esempio, il fenomeno dell'evaporazione. A livello empirico, l'allievo può prendere in considerazione diverse situazioni in cui questo fenomeno si manifesta (liquido che evapora da un recipiente, panni che asciugano, pezzo di frutta che rinfreschisce, ecc.) ed arrivare alla conclusione che, in tutte le situazioni, si è in presenza di acqua "che se ne va". Arrivare a decontestualizzare un fenomeno è indubbiamente un primo, importante passo sulla via della sua comprensione, ma l'allievo non può limitarsi ad una conoscenza di tipo empirico. Per interpretare il fenomeno, è necessario ricorrere ad un modello particellare in base al quale avanzare congetture sul come le particelle siano organizzate nel liquido e nel vapore che si libera dal liquido. In altre parole, occorre aiutare l'allievo a costruire, in interazione con i suoi pari e sotto la guida dell'insegnante, un modello che gli permetta di interpretare il fenomeno a livello microscopico e di fare previsioni. Inoltre, la rappresentazione iconica del modello consente di rendere concreto ciò che, in principio, è astratto e quindi di "manipolarlo" come se si trattasse di un oggetto fisico.

Costruito il modello, si deve offrire agli allievi la possibilità di usarlo per mettere in evidenza quanto esso influisca sul loro modo di concepire i sistemi empirici (corpi e fenomeni). L'uso del modello coinvolge attività di analisi, sintesi, ecc. che danno origine ad una **fenomenologia**, ossia ad una "scienza dei fenomeni", diversa da quella che costituiva il punto di partenza degli allievi, dato che il fondamento di quest'ultima è da ricercare, in larga parte, nell'ambito del sapere comune.

2 - Modellizzare la realtà col modello particellare

Presenteremo ora in modo succinto una sequenza didattica che il nostro gruppo ha elaborato per permettere agli allievi

della scuola secondaria superiore di modellizzare corpi e fenomeni con un modello particellare semplificato della materia. Questa sequenza si ispira alla proposta di un gruppo di ricercatori francesi [3] e costituisce la prima parte di un intervento più ampio che prevede pure la ricostruzione dei concetti di sostanza e di reazione chimica. Questa prima parte prende unicamente in considerazione gli stati fisici della materia e le trasformazioni fisiche. La sequenza è presentata in una serie di schede che scandiscono le tappe essenziali dell'intervento didattico. Queste schede costituiscono la "traccia" per organizzare il lavoro, ma è evidente che ogni insegnante deve adattare le attività di insegnamento/apprendimento alla situazione particolare e specifica che si trova a gestire ogniqualvolta entra in una nuova classe, senza peraltro modificare la strategia didattica.

2.1 - I Gas

La scheda 1 riguarda il fenomeno della compressione (gli allievi lo realizzano usando una grossa siringa) e serve per raccogliere le idee degli allievi a livello empirico con due domande: una relativa alla **quantità** di gas e l'altra al **volume** da questo occupato prima e dopo la compressione. In questo modo è possibile verificare se vi sono ancora allievi che confondono i due concetti. Come è ovvio, gli studenti considerano questa attività ed i relativi quesiti molto banali e rapidamente la discussione che l'insegnante coordina permette di arrivare alla conclusione che, pur se il volume del gas diminuisce, la quantità di gas non cambia, poiché nulla entra nella siringa e nulla ne esce.

Con la seconda scheda, si avviano le attività di modellizzazione fornendo agli allievi un **germe**, ossia una congettura interpretativa grezza, che nel nostro caso è la seguente:

SI PUÒ RAPPRESENTARE UN GAS COME COSTITUITO DA UN INSIEME DI PARTICELLE MOLTO PICCOLE. PER OGNI GAS PURO, LE PARTICELLE HANNO LE SEGUENTI PROPRIETÀ:

- UNA PARTICELLA NON SI PUÒ DIVIDERE, È INDIVISIBILE
- UNA PARTICELLA NON PUÒ CAMBIARE FORMA, È INDEFOR-
MABILE
- UNA PARTICELLA HA SEMPRE LA STESSA MASSA

Si riprende in esame il fenomeno della **compressione**, studiato e discusso in precedenza a livello fenomenologico. Ora però si passa a livello del modello e gli allievi sono invitati ad interpretare il comportamento del gas mediante le particelle ed a rappresentare, mediante disegni, il **gas puro** prima e dopo la compressione (scheda 2, riprodotta nel riquadro 2).

Per riuscire in questo compito, gli allievi devono tenere presente sia le conclusioni alle quali la classe è giunta discutendo le risposte alle domande della scheda 1, sia i **vincoli** del modello, costituiti dalle proprietà delle particelle fissate dal **germe** del modello. Vengono messe in discussione alcune delle rappresentazioni più significative prodotte dagli allievi e la discussione collettiva porta alle conclusioni riportate nel box 1.

In questa discussione si giunge a riconoscere che il tipo di simbolo usato per rappresentare le particelle non è un aspetto significativo del modello, tanto è vero che allievi diversi usano simboli di tipo diverso (triangolo, asterisco, quadrato, rombo, puntino, cerchio, ecc.) per rappresentare le particelle di gas. Evidentemente, dal momento che ci troviamo di fronte ad un **gas puro**, ogni allievo è tenuto ad usare un solo tipo di simbolo della cui scelta, però, è completamente libero. Ugualmente non significativo è il numero delle particelle disegnate, mentre si rivelano **significativi** altri due aspetti. Il primo è relativo alla conservazione del numero di particelle prima e dopo la compressione (il numero non cambia dato che, essendo il sistema chiuso, non può entrare né uscire materia). Il secondo è relativo al fatto che, a seguito della compressione, il volume diminuisce: questo comportamento macroscopico del gas può essere interpretato ammettendo che, prima della compressione, le particelle non siano a contatto e che, dopo la compressione, esse siano più vicine di quanto non lo fossero prima. Dato che la diminuzione di volume è notevole, appare logico ammettere

Livello Macroscopico

stesso gas
stessa massa di gas
diminuzione notevole di volume

↔
↔
↔

Livello Microscopico

un solo tipo di particelle
stesso numero di particelle
le particelle si avvicinano, perché esistono fra di loro spazi molto più grandi delle loro dimensioni

box 1

SCHEDA 2

COGNOME _____ NOME _____
CLASSE _____ SCUOLA _____ DATA _____

SI PUO' RAPPRESENTARE UN GAS PURO COME COSTITUITO DA UN INSIEME DI PARTICELLE MOLTO PICCOLE.

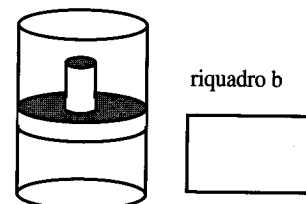
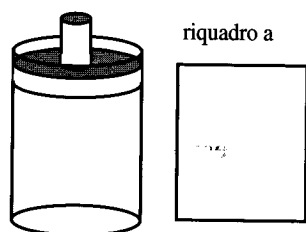
TALI PARTICELLE HANNO LE SEGUENTI PROPRIETA':

- UNA PARTICELLA NON SI PUO' DIVIDERE, E' INDIVISIBILE
- UNA PARTICELLA NON PUO' CAMBIARE FORMA, E' INDEFORMABILE
- UNA PARTICELLA HA SEMPRE LA STESSA MASSA

Quando spingiamo forte il pistone di un cilindro a tenuta, nel quale si trova un gas puro, il pistone si abbassa. Si dice allora che il gas che si trova nel cilindro viene compresso.

Rappresenta nel riquadro A il gas puro prima della compressione.

Rappresenta nel riquadro B il gas puro dopo la compressione.



Riquadro 2 - La scheda per l'analisi del fenomeno della compressione di un gas a livello di interpretazione modellizzante.

che nel gas gli spazi tra le particelle siano molto più grandi di queste ultime. È in questa occasione che l'insegnante pone un nuovo problema, chiedendo agli allievi di esprimere le proprie idee a proposito di "cosa c'è tra una particella e l'altra". Si prende poi in esame il fenomeno della **miscelazione** di due gas (scheda 3, riprodotta nel riquadro 3). Come al solito, prima si ri-

chiede l'analisi del fenomeno a livello empirico e poi la sua interpretazione e rappresentazione mediante il modello. Tra la situazione **con diaframma** e la situazione **senza diaframma** cambia il volume a disposizione dei gas, mentre rimane invariata la loro massa.

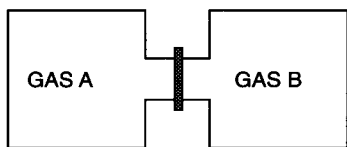
In questa occasione, se si vuole interpretare l'occupazione di tutto il volume a disposizione da parte di entrambi i gas, tenendo presenti gli assiomi iniziali, si deve ammettere che le particelle non siano vincolate, ma libere di muoversi ed in continuo movimento caotico. Altrimenti, come spiegare il loro diffondersi in tutto

SCHEDA 3

COGNOME _____ NOME _____

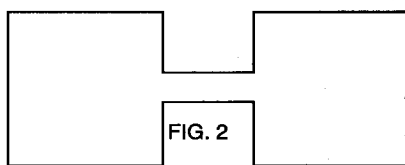
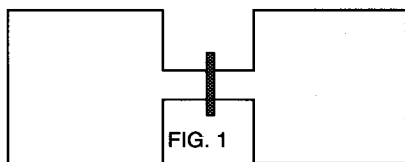
CLASSE _____ SCUOLA _____ DATA _____

Abbiamo due contenitori, separati da un diaframma. In un contenitore è contenuto il gas puro A, nell'altro si trova il gas puro B.



1) Cosa succede quando si toglie il diaframma che separa i due contenitori?

2) Rappresenta i gas nei due contenitori prima di togliere il diaframma (FIG. 1) e dopo aver tolto il diaframma (FIG. 2).



GIUSTIFICA IL TUO DISEGNO

Riquadro 3 - La scheda per l'analisi del fenomeno di diffusione e miscelazione di due gas (livello empirico e interpretazione modellizzante).

il volume a disposizione?

La discussione porta alle conclusioni riportate in box 2.

Come si vede, l'allievo si appropria del modello "in corso d'opera" mano a mano che lo costruisce per interpretare i fenomeni a livello microscopico in termini di

particelle.

La scheda 4 è una prima verifica dell'appropriazione del modello da parte degli allievi, in quanto ne richiede l'uso per interpretare e rappresentare, a livello microscopico, la composizione dell'aria. Anche in questo caso, i risultati vengono

Livello Macroscopico due gas	↔	Livello Microscopico due tipi di particelle
i gas si mescolano	↔	le particelle non sono vincolate tra di loro, sono libere di muoversi e in continuo movimento caotico

box 2

Livello Macroscopico il volume del gas è aumentato il palloncino si è dilatato	↔	Livello Microscopico le particelle sono più lontane di prima le particelle in movimento urtano le pareti del palloncino
---	---	--

box 3

discussi collettivamente.

Nella scheda 5 si prende in esame la dilatazione dell'aria contenuta in un palloncino riscaldato con un asciugacapelli. Si esegue l'esperienza e poi si avvia la discussione a livello fenomenologico, sottoponendo agli allievi due quesiti: uno relativo alla quantità di aria contenuta nel palloncino e l'altro relativo al volume da questa occupato, prima e dopo il riscaldamento. Esaurita la fase della discussione del fenomeno a livello empirico, l'insegnante pone gli allievi di fronte ad un problema: è possibile interpretare la dilatazione del palloncino, in seguito al riscaldamento, mediante il modello particellare? In altre parole, se si scalda l'aria nel palloncino, come si può pensare si comportino le particelle che la costituiscono?

Si lascia volutamente da parte ogni problema relativo ai concetti di energia e di calore in quanto l'obiettivo che si persegue è quello della costruzione del modello particellare. Si tratta di un comportamento del tutto scientifico, in quanto questo è l'atteggiamento del ricercatore che, quando affronta un problema, lascia volutamente nell'ombra gli aspetti che ritiene non pertinenti all'obiettivo che si è posto.

La discussione è alquanto laboriosa, ma infine si perviene allo schema di box 3 che completa i precedenti.

Le discussioni sulle interpretazioni dei fenomeni a livello microscopico hanno portato gli allievi a proporre alcune proprietà delle particelle che vengono ad aggiungersi a quelle fornite inizialmente con il germe del modello. Si riuniscono allora tutte le proprietà nel seguente manifesto esposto in classe:

ABBIAMO RAPPRESENTATO UN GAS COME COSTITUITO DA UN INSIEME DI PARTICELLE MOLTO PICCOLE. TALI PARTICELLE HANNO LE SEGUENTI PROPRIETÀ:

- 1) UNA PARTICELLA NON SI PUÒ DIVIDERE, È INDIVISIBILE.**
- 2) UNA PARTICELLA NON PUÒ CAMBIARE FORMA, È INDEFOR-**

MABILE.

3) UNA PARTICELLA HA SEMPRE LA STESSA MASSA.

4) UN SOLO TIPO DI PARTICELLE INDIVIDUA UN GAS PURO

5) UN DETERMINATO NUMERO DI PARTICELLE DELLO STESSO TIPO EQUIVALE SEMPRE ALLA STESSA QUANTITA' DI GAS.

6) TRA LE PARTICELLE ESISTONO SPAZI VUOTI MOLTO PIU' GRANDI DELLE DIMENSIONI DELLE PARTICELLE STESSE.

7) LE PARTICELLE NON SONO VINCOLATE TRA LORO.

8) LE PARTICELLE SONO LIBERE DI MUOVERSI.

9) LE PARTICELLE SONO IN CONTINUO MOVIMENTO CAOTICO.

Queste proprietà vengono così formulate dall'insegnante in base alle conclusioni cui sono giunti gli allievi discutendo l'interpretazione dei fenomeni mediante il modello particellare. Quest'ultimo non è fornito dall'insegnante, ma viene costruito dagli allievi "in corso d'opera" ossia cimentandosi con i problemi posti dall'interpretazione di nuovi fenomeni.

2.2 - I solidi e i liquidi

Ora si può passare ad un altro stato fisico ed interpretarne le proprietà e le trasformazioni con il modello particellare. Noi proponiamo di passare ai solidi e di partire anche qui dal fenomeno della dilatazione, usando un dispositivo ben conosciuto: la sfera di Gravesande. In base allo schema abituale, anche in questo caso si lavora prima a livello fenomenologico (volume della sfera e quantità di metallo) e si conclude con la rappresentazione della sfera prima e dopo la dilatazione mediante il modello particellare (scheda 6, riprodotta nel riquadro 4).

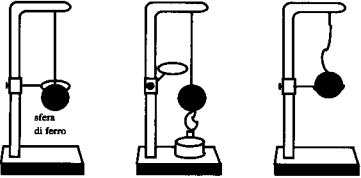
Se si ragiona su questa dilatazione in termini di particelle, tenuto conto che queste non possono dividersi e non possono diventare più grandi (cambiare dimensioni), si è obbligati ad ammettere che anche nella dilatazione dei solidi le particelle si allontanano. L'insegnante invita gli allievi a mettere a confronto la dilatazione del gas (palloncino) con la dilatazione del solido (sfera metallica). Dalla discussione emerge che la dilatazione del gas è di entità ben superiore a quella del solido, tanto è vero che la dilatazione della sfera non è percettibile ad occhio nudo. Questo significa che, nei solidi, gli spazi vuoti che esistono tra le particelle sono molto piccoli rispetto a quelli che si possono ammettere nei gas e molto pic-

coli rispetto anche alle dimensioni delle particelle, data la scarsa entità della dilatazione. Inoltre la sfera conserva la propria forma. In termini particellari, questo significa che le particelle sono in qualche modo vincolate le une alle altre, il che porta a concludere che non sono libere di muoversi. La conservazione della forma da parte della sfera viene anche interpretata come conservazione della posizione reciproca delle particelle: parecchi allievi suggeriscono quindi che le particelle siano disposte secondo un ordine che viene mantenuto durante la dilatazione della sfera. Essi ritengono poco credibile che si possa mantenere lo stesso disordine particellare, tanto più che l'idea di una disposizione ordinata rende plausibile considerare minimo lo spazio tra le particelle.

A questo punto appare evidente che alcune delle proprietà attribuite alle particelle per interpretare il comportamento dei gas non possono essere usate per interpretare la dilatazione dei solidi. Si chiede perciò agli allievi di fare ciò che è normale per uno scienziato: partire da un modello con certe caratteristiche e adattarlo a una nuova situazione ragionando per analogia. In altre parole, si chiede agli allievi come si deve modificare il modello particellare dei gas, al fine di poterlo utilizza-

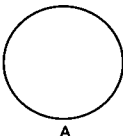
SCHEDA 6

COGNOME _____ NOME _____
CLASSE _____ SCUOLA _____ DATA _____

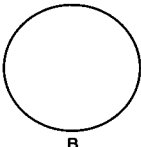


Il disegno rappresenta un esperimento fatto con una sfera di ferro. Prima di essere riscaldata, cioè quando è fredda, la sfera passa attraverso l'anello. Si riscalda la sfera con una fiamma. Dopo il riscaldamento, la sfera non passa più attraverso l'anello.

3) Rappresenta nel cerchio A la sfera **prima** del riscaldamento.
Rappresenta nel cerchio B la sfera **dopo** il riscaldamento.



A



B

GIUSTIFICA IL TUO DISEGNO _____

1) Secondo te, dopo il riscaldamento, il **volume** della sfera è

più piccolo di quello iniziale uguale a quello iniziale

più grande di quello iniziale non so rispondere

SPIEGA LA TUA RISPOSTA _____

2) Secondo te, con il riscaldamento, la **quantità** di ferro della sfera

aumenta rimane uguale

diminuisce non so rispondere

SPIEGA LA TUA RISPOSTA _____

Riquadro 4 - La scheda per l'analisi del fenomeno di dilatazione di un solido (livello empirico e interpretazione modellizzante).

re per interpretare la dilatazione del solido. Si arriva così alla conclusione che alcuni dei nove punti che riassumono le caratteristiche del modello particellare per i gas devono essere modificati per poter applicare il modello al comportamento dei solidi. La formulazione è ora la seguente:

RAPPRESENTIAMO UN SOLIDO COME COSTITUITO DA UN INSIEME DI PARTICELLE MOLTO PICCOLE. TALI PARTICELLE HANNO LE SEGUENTI PROPRIETÀ:

- 1) UNA PARTICELLA NON SI PUÒ DIVIDERE, È INDIVISIBILE.
- 2) UNA PARTICELLA NON PUÒ CAMBIARE FORMA, È INDEFOR-
MABILE.
- 3) UNA PARTICELLA HA SEMPRE LA STESSA MASSA.
- 4) UN SOLO TIPO DI PARTICELLE INDIVIDUA UN SOLIDO PURO.
- 5) UN DETERMINATO NUMERO DI PARTICELLE DELLO STESSO TIPO EQUIVALE SEMPRE ALLA STESSA QUANTITÀ DI SOLIDO.
- 6) TRA LE PARTICELLE ESISTONO SPAZI VUOTI MOLTO PICCOLI.
- 7) LE PARTICELLE SONO VINCOLATE TRA LORO.
- 8) LE PARTICELLE NON SONO LIBERE DI MUOVERSI.
- 9) LE PARTICELLE SONO DISPOSTE IN MODO ORDINATO.

Come già abbiamo fatto notare, queste non sono conclusioni fornite dall'insegnante o ricavate dagli allievi mediante osservazioni, come se si trattasse di evidenze sperimentali. Ad esse gli allievi arrivano quando ricorrono al modello particellare per interpretare nuove situazioni sperimentali problematiche.

Si lavora allo stesso modo anche sui liquidi e alla fine, in base alle conclusioni raggiunte studiando i gas, i solidi ed i liquidi, si arriva a formulare le proprietà delle particelle, in modo tale che il modello serva per tutti gli stati fisici della materia.

- 1) UNA PARTICELLA NON SI PUÒ DIVIDERE, È INDIVISIBILE.
- 2) UNA PARTICELLA NON PUÒ CAMBIARE FORMA, È INDEFOR-
MABILE.
- 3) UNA PARTICELLA HA SEMPRE LA STESSA MASSA.
- 4) UN SOLO TIPO DI PARTICELLE INDIVIDUA UNA SOSTANZA.

5) UN DETERMINATO NUMERO DI PARTICELLE DELLO STESSO TIPO EQUIVALE SEMPRE ALLA STESSA QUANTITÀ DI SOSTANZA.

6) TRA LE PARTICELLE ESISTONO SPAZI VUOTI PIÙ O MENO GRANDI A SECONDA DELLO STATO FISICO DELLA SOSTANZA.

7) LE PARTICELLE SONO PIÙ O MENO VINCOLATE TRA LORO A SECONDA DELLO STATO FISICO DELLA SOSTANZA.

8) LE PARTICELLE SONO PIÙ O MENO LIBERE DI MUOVERSI A SECONDA DELLO STATO FISICO DELLA SOSTANZA.

9) LE PARTICELLE SONO DISPOSTE IN MODO PIÙ O MENO ORDINATO A SECONDA DELLO STATO FISICO DELLA SOSTANZA

Con questo modo di lavorare si mette in evidenza che il modello non è la realtà, il referente empirico, ma un modo per reinterpretarla e rappresentarla a livello microscopico, dal momento che il modello può essere aggiustato, modificato, ampliato per far fronte a nuove situazioni sperimentali, senza che vi sia contraddizione tra le versioni successive.

La formulazione del punto 4 è sempre molto interessante, in quanto si tratta di introdurre un termine unico per indicare quel sistema che, a seconda delle condizioni, è stato chiamato gas puro, solido puro o liquido puro. Nella discussione, tra le varie proposte avanzate dagli studenti, compare sempre il termine "sostanza". In genere però, almeno in un primo momento, non tutti ammettono che questo sia il termine più adeguato per descrivere un insieme di particelle dello stesso tipo; situazione che è del tutto comprensibile se si tiene conto dei risultati ottenuti in due indagini sul concetto di sostanza [4,5]. Va comunque detto che, ogni volta che è stata messa in atto questa sequenza, alla fine della discussione gli allievi che proponevano di utilizzare il termine sostanza sono stati in grado di convincere i compagni ad accettare l'idea che, in base al modello costruito, il termine sostanza era il più pertinente per indicare un corpo costituito da particelle di un unico tipo.

Completata la fase di modellizzazione degli stati fisici, è possibile porre gli allievi di fronte ai passaggi di stato, studiandoli prima come eventi empirici e passando poi a interpretarli ed a rappre-

sentarli con il modello particellare. Gli allievi eseguono esperienze riguardanti l'evaporazione e l'ebollizione di una sostanza liquida (acqua) e la fusione di una sostanza solida (ad esempio ac. stearico, ac. palmitico, naftalene, p-diclorobenzene) in seguito a riscaldamento. Per entrambi i fenomeni, gli studenti annotano i dati riguardanti tempo e temperatura con i quali costruiscono i relativi grafici (altri modelli!). In seguito, viene richiesta l'interpretazione e la rappresentazione del fenomeno mediante il modello particellare. La discussione dei risultati permette di:

- mettere in relazione l'andamento di variabili macroscopiche con il comportamento delle particelle (aspetto microscopico);
- mettere in relazione i grafici, modelli che rappresentano l'andamento di due variabili durante i passaggi di stato di una sostanza, con la modellizzazione degli stati fisici corrispondenti tramite le particelle;
- evidenziare la natura dinamica del modello particellare, in quanto gli allievi arrivano ad affermare che il movimento delle particelle è in relazione con la temperatura.

Come detto in precedenza, non è necessario né opportuno introdurre a questo livello il concetto di energia.

Il lavoro sui passaggi di stato permette di caratterizzare una trasformazione fisica come quel cambiamento in cui la sostanza conserva la propria identità e quindi il tipo di particelle (unità strutturali) non cambia.

La scheda 13 riguarda la dissoluzione di un sale colorato (permanganato di potassio, $KMnO_4$) in acqua a temperatura ambiente ed in acqua riscaldata. Ancora una volta viene richiesto agli studenti di affrontare prima l'aspetto empirico del fenomeno per poi interpretare e rappresentare il sistema usando il modello particellare.

L'insegnante guida la discussione che consente di:

- confermare la relazione fra movimento delle particelle e temperatura, poiché, nel bicchiere contenente acqua calda, il sale viola (e quindi il colore) diffonde più rapidamente;
- precisare il concetto di miscela come intimo mescolamento di più sostanze, modellizzabile quindi con tanti simboli quanti sono i tipi di particelle, vale a dire le sostanze che entrano in gioco (come già visto in precedenza nel caso della dif-

fusione di due gas e della rappresentazione dell'aria).

Quest'ultimo aspetto permette, per esempio, di risolvere l'ambiguità della frase del linguaggio quotidiano "il ghiaccio si scioglie" usata per indicare il fenomeno della fusione dell'acqua solida. Quando però si ricorre al modello, questo fenomeno deve essere interpretato come il passaggio dallo stato solido a quello liquido dell'acqua (unica sostanza presente) e rappresentato con un solo tipo di particelle. Se il fenomeno venisse interpretato come una soluzione (miscela) dovrebbero essere presenti almeno due sostanze, la cui rappresentazione richiederebbe l'uso di almeno due tipi di particelle.

2.3 - Una verifica dell'efficacia dell'approccio

L'efficacia dell'approccio proposto è stata verificata con due prove che sono state somministrate negli anni scolastici 1993/94 e 1994/95 a due classi parallele.

Le classi B hanno ricevuto un insegnamento tradizionale, mentre nelle classi A gli studenti hanno messo in opera attività di modellizzazione.

2.3.1 - La prima prova di verifica

Con la prima prova (scheda 14, riquadro 5) si richiede agli studenti:

- di assegnare ognuna delle rappresentazioni mediante le particelle ad uno dei sistemi empirici proposti: sostanza solida, sostanza liquida, sostanza gassosa, miscela di solidi, miscela di liquidi, miscela di gas;

- di esporre i criteri in base ai quali ogni rappresentazione modellistica è stata accoppiata ad un determinato sistema empirico.

Per esempio, la figura A del riquadro 5 dovrebbe essere identificata dallo studente come rappresentazione di una sostanza solida mediante il modello particellare. A giustificazione di questa scelta, dovrebbero essere portati i seguenti

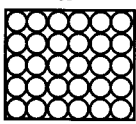
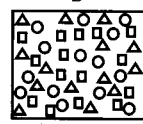
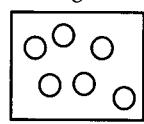
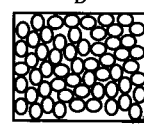
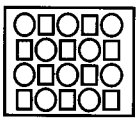
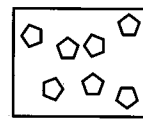
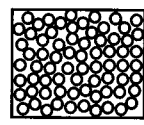
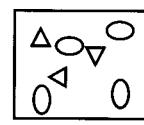
argomenti:

- si tratta di una sostanza, poiché è presente un solo **tipo** di particelle;
- non si tratta di un gas, poiché gli **spazi** tra le particelle sono molto più piccoli delle dimensioni delle particelle stesse;
- si tratta di un solido, poiché le particelle sono disposte in modo **ordinato**;
- si tratta di un solido, poiché le particelle sono **vincolate** e non possono **muoversi** liberamente.

Le due affermazioni dell'ultimo punto non trovano riscontro nella rappresentazione iconica, ma appartengono alle caratteristiche del modello particellare dei solidi.

Nella Tabella 1 sono riportate le percentuali di risposte corrette, senza tenere conto delle giustificazioni.

Soprattutto per l'anno scolastico 1993/1994, non sembra esservi una grande differenza tra gli allievi che hanno lavorato alla costruzione del modello particellare (classi A) e quelli che hanno ricevuto un insegnamento di tipo trasmissivo/ricettivo (classi B). Se però si tiene conto delle

VERIFICA		SCHEDA 14	
COGNOME _____		NOME _____	
CLASSE _____		SCUOLA _____	
		DATA _____	
A	B	C	D
			
E	F	G	H
			
Servendoti delle lettere, indica quali, secondo te, sono rappresentazioni corrette di:			
UNA SOSTANZA SOLIDA _____		UNA SOSTANZA GASSOSA _____	
Giustifica la tua scelta _____		Giustifica la tua scelta _____	
_____		_____	
_____		_____	
UNA SOSTANZA LIQUIDA _____		UNA MISCELA DI SOLIDI _____	
Giustifica la tua scelta _____		Giustifica la tua scelta _____	
_____		_____	
_____		_____	
UNA SOSTANZA LIQUIDA _____		UNA MISCELA DI LIQUIDI _____	
Giustifica la tua scelta _____		Giustifica la tua scelta _____	
_____		_____	
_____		_____	
UNA SOSTANZA LIQUIDA _____		UNA MISCELA DI GAS _____	
Giustifica la tua scelta _____		Giustifica la tua scelta _____	
_____		_____	
_____		_____	

Riquadro 5 - La prima scheda per verificare il livello di appropriazione del modello.

	% risposte corrette	
	classe A	classe B
a. s. 93/94	97	81
a. s. 94/95	91	61

Tab. 1

giustificazioni avanzate dagli allievi per ciascuna scelta, le differenze fra i corsi A e B risultano ben più importanti, non solo dal punto di vista quantitativo, ma anche e soprattutto da quello qualitativo. I punteggi ottenuti da ciascuna classe sono riportati in Tabella 2, espressi come percentuale sul punteggio massimo possibile. Ecco come si è proceduto per il calcolo. Per ogni sistema empirico di cui sono state individuate le rappresentazioni modellistiche, ciascuno studente riceve un punto ogni volta che utilizza in modo corretto una delle caratteristiche del modello particellare. I sistemi empirici modellizzati sono sei (sostanza solida, sostanza liquida, sostanza gassosa, miscela di solidi, miscela di liquidi, miscela di gas) e per ognuno si può fare ricorso a cinque caratteristiche (tipo di particelle, spazio esistente tra le particelle, ordine delle particelle, vincoli tra le particelle, movimento delle particelle). Per ogni studente sono dunque disponibili 30 punti, punteggio massimo ottenibile nel caso in cui tutte le giustificazioni siano corrette. Se però non si tiene conto delle ultime due caratteristiche (vincoli tra le particelle, movimento delle particelle) in quanto non rappresentabili visivamente, allora ogni studente ha a disposizione 18 punti: 6 sistemi empirici x 3 caratteristiche. Se in una classe vi sono 20 allievi, nel primo caso il punteggio massimo della classe sarà 600 (6 x 5 x 20 = 600), mentre nel secondo caso si riduce a 360 (6 x 3 x 20 = 360).

Gli otto disegni della scheda 14 sono rappresentazioni modellistiche a livello microscopico e quindi non mostrano alcuna caratteristica macroscopica. La maggior parte degli studenti delle classi

B individuano in modo corretto i sistemi fisici rappresentati dai disegni, ma gli argomenti che vengono portati a giustificazione delle loro scelte si riferiscono a caratteristiche macroscopiche di solidi, liquidi e gas relative a forma e volume del sistema. Ad esempio, alcuni allievi affermano che le figure C ed F sono rappresentazioni di liquidi, perché "i liquidi hanno volume ma non forma propria"; oppure sostengono che le figure G e D "sono gas perché occupano tutto il volume a disposizione, non hanno volume né forma propri". Alcuni allievi sostengono che i sistemi fisici delle figure G e D "sono allo stato gassoso perché nel quadrato ci sono molti atomi": giustificazione che non ha senso alcuno. In generale viene fatta confusione tra liquidi e gas, mentre i solidi vengono riconosciuti, nella maggior parte dei casi, solo per la struttura ordinata delle particelle.

È altresì interessante il fatto che gli allievi delle classi B facciano ricorso a concetti quali legame, forza tra gli atomi, movimento veloce o lento degli atomi per giustificare la risposta data, anche se le figure nulla dicono a tal proposito. Anche nelle classi A sono presenti risposte di questo tipo, ma in percentuale largamente inferiore.

2.3.2 - La seconda prova di verifica

Con la seconda prova di verifica (scheda 15, riquadro 6) si richiede agli allievi di modellizzare un sistema descritto dal punto di vista empirico, di darne una rappresentazione iconica e di giustificarla. Nelle tabelle 3 e 4 sono riportati i punteggi delle classi A e B per l'anno scolastico 1994/95. Le lettere T, Q, S, O, V, M, che compaiono nell'intestazione delle varie colonne, identificano i criteri di cui gli studenti devono tenere conto per rappresentare, mediante il modello particellare, i sistemi empirici acqua, zucchero e miscela acqua/zucchero.

Nelle colonne contrassegnate dalla lettera T, viene registrato se particelle di tipo diverso sono state rappresentate con simboli differenti; nelle colonne contrassegnate dalla lettera Q se il numero di particelle della miscela ottenuta è la som-

ma del numero di particelle utilizzate per rappresentare separatamente il solvente (acqua) e il soluto (zucchero); nelle colonne contrassegnate dalla lettera S se gli spazi tra le particelle rispettano i criteri pertinenti ad ogni stato di aggregazione; nelle colonne contrassegnate dalla lettera O se la disposizione delle particelle è più o meno ordinata a seconda dello stato di aggregazione rappresentato. Nelle colonne V ed M viene rilevato se lo studente cita vincoli e movimenti delle particelle nei vari stati di aggregazione. I pedici "m" e "g" che compaiono nelle intestazioni delle colonne indicano rispettivamente in quale settore della scheda, modellizzazione o giustificazione, i criteri sono stati rilevati.

Va subito detto che sia gli studenti della classe A che quelli della classe B non hanno quasi mai (3 su 32) fatto ricorso ai vincoli tra particelle, mentre il movimento delle particelle non è stato mai citato. Durante la discussione dei risultati, tutti gli studenti hanno dichiarato di non avere sentito la necessità di ricorrere a questi due criteri per giustificare la modellizzazione richiesta nella scheda 15. Per questo motivo, né la colonna dei punteggi totali né quella che si riferisce alle giustificazioni (GIU) tengono conto delle colonne V_g e M_g che abbiamo comunque riportato nelle tabelle. I punteggi percentuali riferiti alla totalità dei punti disponibili (77% per la classe A, 39% per la classe B) sono già abbastanza indicativi del livello di prestazioni delle due classi, ma l'analisi dettagliata dei criteri adottati rende molto più significativo il confronto. Le prime quattro colonne, che si riferiscono alla modellizzazione dei sistemi acqua liquida, zucchero solido e soluzione di zucchero in acqua, dicono che gli allievi della classe A hanno utilizzato il 92% dei punti disponibili per questa attività (MOD); quelli della classe B ne hanno utilizzato solo il 56%. Per una corretta rappresentazione grafica dei tre sistemi presi in esame è necessario usare i quattro criteri (T_m, Q_m, S_m, O_m) relativi a: tipo di particelle; conservazione della quantità di particelle; spazi tra le particelle; ordine delle particelle. Inoltre devono essere usati i criteri previsti dal modello particellare. Gli studenti che hanno soddisfatto questa condizione sono 13 su 16 nella classe A, ma solo 4 su 16 nella classe B. Gli allievi di questa classe hanno utilizzato, in vari modi, simboli simili a quelli tipici della iconografia classica molecolare, tentando di modellizzare,

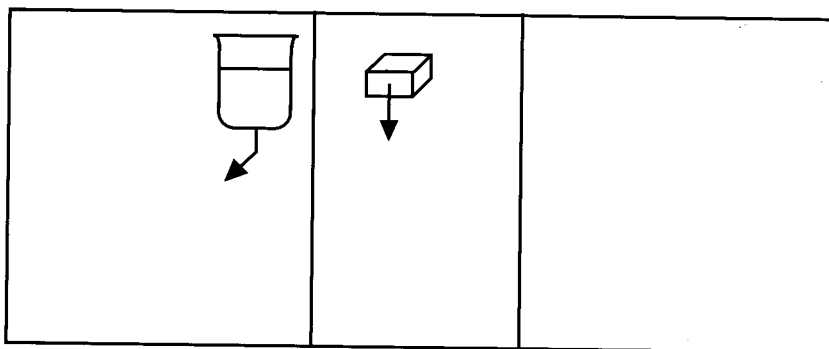
	punti (max 18)		punti (max 30)	
	classe A	classe B	classe A	classe B
a. s. 93/94	77	29	57	27
a. s. 94/95	87	42	57	27

Tab. 2

COGNOME _____ NOME _____
 CLASSE _____ SCUOLA _____ DATA _____

Si versa un po' d'acqua in un recipiente e poi si aggiunge una zolletta di zucchero. Si tappa il recipiente e si aspetta che tutto lo zucchero si sia sciolto.

a) Rappresenta negli spazi indicati: l'acqua, lo zucchero e l'acqua nella quale tutto lo zucchero si è disciolto.



Riquadro 6 - La seconda scheda per verificare il livello di appropriazione del modello.

senza possedere un modello di riferimento, fenomeni la cui conoscenza a livello empirico è frutto di un apprendimento di tipo mnemonico. La conferma di questo giudizio la si ritrova nei punteggi attribuiti alle giustificazioni, quando queste sono congruenti con i punteggi acquisiti con i disegni prodotti. Viene infatti assegnato il 61% dei punti alla classe A (Tabella 3) contro il 22% attribuito alla classe B (Tabella 4). Quest'ultimo punteggio è basso in quanto gli studenti ricorrono quasi sempre, per giustificare le loro modellizzazioni, a termini scientifici quali: soluto, soluzione, solvente, miscela omogenea, associandoli ad espressioni tipiche del sapere comune quale "l'acqua scioglie lo zucchero". Essi sembrano quindi disporre di un substrato di sapere comune sul quale innestano termini scientifici, ma questo ibrido non consente loro di assolvere in modo adeguato il compito proposto.

3 - Aspetti caratteristici dell'approccio per modelli

Nei paragrafi precedenti è stata illustrata una sequenza didattica messa a punto per aiutare gli allievi a "costruire" un modello particellare della materia. In questo paragrafo ci proponiamo di analizzarla in modo da metterne in evidenza gli aspetti caratteristici. Una prima caratteristica è

l'uso delle situazioni empirico-sperimentali come base problematica del lavoro. Gli allievi eseguono un esperimento o assistono ad un esperimento eseguito dall'insegnante e poi devono rispondere ad una serie di domande che possono riguardare:

- aspetti conosciuti, o percepiti nel corso della sperimentazione, di corpi o fenomeni;
- trasformazioni fisiche di corpi puri (sostanze).

Queste domande servono a focalizzare l'attenzione degli allievi su alcune caratteristiche dei corpi studiati o su alcuni aspetti importanti delle **trasformazioni fisiche** di questi stessi corpi. In particolare, esse mirano a portare l'interesse degli allievi su **varianti e invarianti** (ciò che cambia e ciò che non cambia) nel corso delle trasformazioni. È evidente che si tratta di un modo di lavorare ben diverso da quello praticato di solito nelle aule dei nostri istituti, dove gli allievi sono invitati ad **osservare** ed a segnalare gli aspetti che, a loro giudizio, dovrebbero essere ritenuti significativi.

In un primo momento, gli allievi analizzano il fenomeno della compressione di un gas dal punto di vista empirico, macroscopico, prendendo in considerazione le variabili **massa** e **volume**. Segue una discussione collettiva, coordinata dall'insegnante, al termine della quale si rag-

giunge un accordo sulla descrizione empirica del fenomeno, vale a dire su ciò che cambia e su ciò che non cambia nel corso del fenomeno e sulle ragioni che giustificano la conclusione raggiunta.

A questo punto, l'insegnante chiede agli allievi di interpretare il fenomeno empirico a livello microscopico e di darne una rappresentazione iconica, avendo a disposizione la congettura seguente: un gas puro può essere considerato un insieme di particelle; una particella non si può dividere, non può cambiare forma ed ha sempre la stessa massa. Questa congettura non è il modello, ma un **germe** di modello. Agli allievi viene proposto un oggetto fittizio (la particella), al quale vengono attribuite alcune proprietà (indivisibilità, indeformabilità, massa costante) che lo rendono **oggetto significativo** di un altro oggetto, l'**oggetto significato**, di cui si suppone plausibile l'esistenza.

Di conseguenza, ragionare, riflettere su ciò che potrebbe capitare alle particelle significa ragionare su ciò che potrebbe capitare ad un insieme di oggetti microscopici il cui comportamento interpreta il comportamento del gas a livello empirico. La congettura iniziale consente agli allievi di tradurre la compressione del gas in termini di particelle, ossia di modellizzarla, in quanto fornisce informazioni sufficienti per esplicitare le relazioni tra comportamento del sistema reale e comportamento delle particelle:

Il compito proposto agli allievi, modellizzare il fenomeno della compressione, li porta quindi a lavorare ad un livello diverso da quello empirico: il livello del modello. Si ammette che l'analisi e l'interpretazione in termini di particelle (fenomeno immaginato) corrisponda a ciò che avviene a livello empirico (fenomeno percepito) non in termini **realistici**, ma in termini **euristici**, ossia nell'ambito di una ricerca di conoscenza. Si tratta di un modo di procedere pienamente adeguato alle concezioni degli epistemologi razionalisti contemporanei, i quali parlano di realtà *non figurativa*, di realtà *fittizia* ma *plausibile*.

Siamo qui in presenza del secondo aspetto caratteristico di questo approccio: tenere nettamente separato il livello del **referente empirico** (i corpi o i fenomeni presi in considerazione) dal livello del **modello** (i fenomeni immaginati facendo entrare in gioco le particelle). In effetti, i compiti proposti agli allievi sono tali da metterli costantemente ed esplicitamente nella necessità di lavorare su due livelli

(referente empirico e modello) e di passare da un livello all'altro con collegamenti logici. Quando si chiede loro di interpretare in termini di particelle ciò che avviene a livello empirico, gli allievi devono spostarsi in un contesto di *realità*

non figurativa e costruirsi una nuova fenomenografia. Quella di cui dispongono, basata sul sapere comune o su un sapere scientifico a livello empirico, non consente loro di assolvere il compito proposto. In questo modo si rende sempre più

esplicita l'idea che le particelle non possono essere assimilate a piccolissime porzioni invisibili dei corpi presi in considerazione. Se così fosse, sarebbero oggetti reali che non si presterebbero a tutte le operazioni intellettuali cui invece si

Allievo	Tm	Qm	Sm	Om	Tg	Qg	Sg	Og	Vg	Mg	Punti
1	1		1	1		1	1	1			6
2	1	1	1	1							4
3	1	1	1	1	1		1	1			7
4	1	1	1	1	1						5
5	1	1	1	1	1	1	1	1			8
6		1	1	1							3
7	1	1	1	1	1		1				6
8	1	1	1	1	1		1	1			7
9	1	1	1	1	1			1			6
10	1	1	1	1	1	1	1	1			8
11	1	1	1	1	1		1	1			7
12	1	1	1	1	1	1	1	1			8
13	1	1	1	1	1		1	1			7
14		1					1	1			3
15	1	1	1	1	1		1	1			7
16	1	1	1	1			1	1	1		6
Totali parziali	14	15	15	15	11	4	12	12	1	0	
Totali				59				39			98
Percentuale				92				61			77
				MOD				GIU			TOT

Tab. 3 - Risultati della scheda 15 (classe A 94/95)

Allievo	Tm	Qm	Sm	Om	Tg	Qg	Sg	Og	Vg	Mg	Punti
1	1				1						2
2	1	1	1	1	1				1		5
3				1							1
4	1										1
5	1	1	1	1	1						5
6								1			1
7	1		1	1	1						4
8	1	1	1	1	1		1				6
9	1	1	1		1		1				5
10											0
11	1		1	1							3
12	1	1	1	1	1						5
13									1		0
14	1		1	1			1	1			5
15	1			1							2
16	1	1	1				1	1			5
Totali parziali	12	6	9	9	7	0	4	3	2	0	
Totali				36				14			50
Percentuale				56				22			39
				MOD				GIU			TOT

Tab. 4 - Risultati della scheda 15 (classe B 94/95)

